

輻射リサイクリングを導入した近接場熱光発電の解析(Ⅲ) —デバイスの有限性を考慮した解析—

Theoretical analysis of near-field thermophotovoltaic system with recycling of thermal emission(Ⅲ)

—Analysis of finite-size devices—

京大院工, ○鈴木泰樹, 井上卓也, 池田圭佑, 浅野卓, 野田進

Kyoto Univ., ○T. Suzuki, T. Inoue, K. Ikeda, T. Asano, and S. Noda

Email: tsuzuki@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

[序]太陽電池と熱輻射光源を光の波長以下まで近接させて発電する近接場熱光発電は、近接場光を介した熱輻射伝達により、高出力・高効率な発電が可能と期待される。我々は、Si 熱輻射光源と InGaAs 太陽電池を、Si 中間基板を介して近接させたデバイスを作製し、実験的に平均近接距離 150 nm 以下を実現し、遠方場と比較して大幅な短絡電流の増強に成功した^{1),2)}。また、光源の熱輻射のうち、太陽電池を透過する成分や太陽電池と逆側の自由空間に放射される成分を光源側に戻す輻射リサイクリングを導入した近接場熱光発電システムの提案も行った²⁾。今回、上記のシステムにおいて、デバイスの有限性に起因する光源温度の不均一性や熱伝導損失等を考慮して発電特性のより詳細な解析を行ったので報告する。

[解析構造] Fig.1(a)に解析モデルを示す。Si 熱輻射光源の上部に、半径 r の開口をもつ反射鏡を配置し、開口部から光源を加熱して発電を行うシステムを考える。揺動散逸定理を用いて計算した、開口部(自由空間)、

反射鏡、太陽電池へ向けて放射される正味の熱輻射パワー(それぞれ $P_1(T)$, $P_2(T)$, $P_3(T)$ とする)の温度依存性[Fig. 1(b)]を考慮して熱伝導解析を行い、光源の温度分布を計算した。その際、デバイスの大きさは 2 mm 角、光源と中間基板の近接距離は 100 nm とした。また、光源は幅 10 μm 、長さ 1.05 mm の Si 梁 4 本で支持され、そこから熱伝導損失が生じると仮定した。得られた温度分布をもとに、理想的な InGaAs 太陽電池(AM1.5 の照射時の発電効率:約 23%)³⁾における発電効率を計算した。

[計算結果] 反射鏡の開口半径を変えて、光源の平均温度を 1300 K とするために必要な加熱パワーを計算した結果を Fig. 2(a)に示す。開口部が小さいほど、輻射リサイクリングの効果により光源の加熱に必要なパワーは減少する。ただし、開口部が小さい場合、Fig. 2(b)に示すように、光源面内の温度差が大きくなり、局所的に光源が加熱されるため、Si の昇温限界温度(~1400K)を考慮すると、開口半径は 0.2 mm 以上とするのが望ましい。また、発電効率の開口半径依存性を示した結果を Fig. 2(c)に示す。同図より、光源の大きさが 2 mm 角の場合では、開口半径 0.5 mm 以下で発電効率 35% 以上が実現可能であることが分かる。本研究の一部は科研費の支援を受けた。[文献] 1) T. Inoue et al., Nano Lett. 19,3948 (2019). 2) 池田他, 本応物. 3) 鈴木他, 2020 秋季応物, 10a-Z18-9. 4) S. Rühle, Solar Energy, 130, 139 (2016).

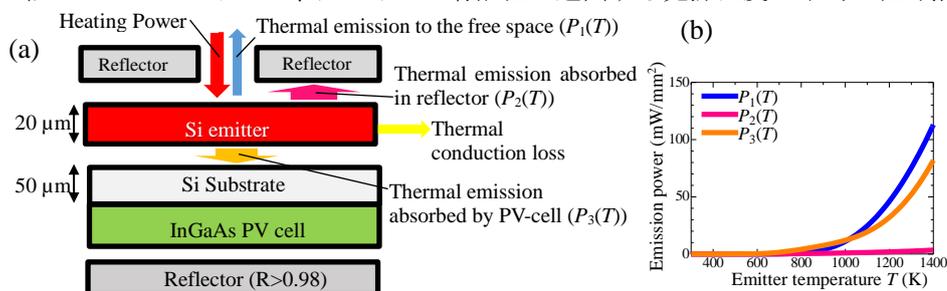


Fig. 1 (a) Simulation model for a finite-sized near-field TPV system with reflectors. (b) Near-field emission power as a function of emitter temperature T .

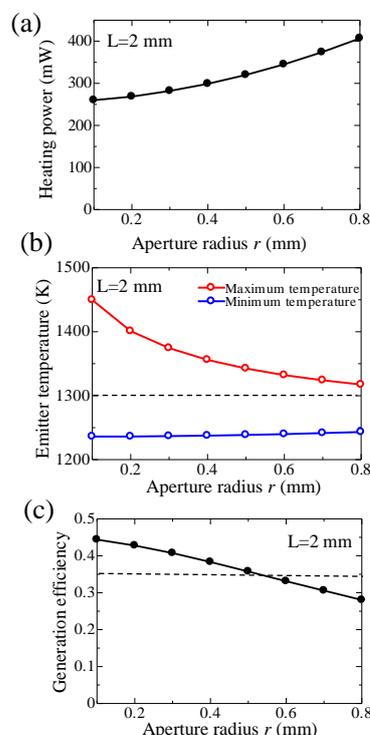


Fig. 2 (a) Required power for heating the Si emitter at 1300 K as a function of aperture radius r . (b) Maximum and minimum emitter temperature as a function of r . (c) Generation efficiency as a function of r .